

線分長とのクロスモダリティマッチングによる ラウドネス連続評価について

加藤 徹・難波 精一郎*・桑野 園子*

Continuous Judgment of Loudness by Cross-Modality Matching using Line Length

Tohru KATO, Seichiro NAMBA* and Sonoko KUWANO*

はじめに

感覚判断にとっての日常生活環境は、一般的な実験室環境に比較すると、はるかに複雑なものである。同一の音刺激に対するラウドネス判断でも、実験室内ではほとんどの場合に提示されるのはその刺激音のみであるが、日常生活環境では、複数の音源からの音が同時に存在し、それぞれが有意味であり、かつ心理的に連続した時間の流れの中でおこなわれている。無論、後者の方がより一般的な判断様式を要求する環境であって、音のラウドネスがいかにして決定されるかを追求する場合にも、目指すところはそのような一般的环境での判断のメカニズムである。そのためには、刺激音の制御技術に加えて、新しい心理判断方法の開発が必要になってくる。音の持続時間がある程度以上に長くなり心理的現在を超えるようになると、音全体を通してのラウドネス判断以外に、その時々でのラウドネス判断も生じてくる。一つの音源からの音のラウドネス変化を感覚で捉えることができる以上これは当然のことであり、このような刻々のラウドネス判断を基に全体判断が生起すると考えることができる。難波、桑野はこのような刻々のラウドネス判断を求める方法として、カテゴリー連続判断を開発し、種々の測定を行っている (Namba & Kuwano, 1980: 難波、桑野、二階堂, 1982: Kuwano & Namba, 1985: Namba, Kuwano & Fastl, 1988: Kuwano & Namba, 1990: Namba, Kuwano, Hato & Kato, 1991:

* 大阪大学人間科学部環境心理学講座 (Department of Environmental Psychology, Faculty of Human Sciences, Osaka University)

本研究については平成5年9月の日本音響学会聴覚研究会と12月の日本人間工学会関西支部大会で報告した。

Kuwano & Namba, 1992)。ところで、カテゴリー連続判断は、アナログ的に変化する対象をステップ変化で追従するという具体的反応様式からいって、判断の時間的連続性にある限界が出てくる。この種の心理判断がステップ的になることを解消することはほぼ不可能であるとしても、そのステップの時間幅をより短くできる方法が一方では模索されてきた。その一つは、線分長とのクロスモダリティマッチングを求めることである (Namba, Kuwano & Fastl, 1988)。この方法では、線分長の高速な調整を保障する必要がある、その具体的解決が当面の問題となっている。既に我々は、この問題の解決を目的とする一つの試みについて発表しており (加藤、難波、桑野、1993)、この方法の持つ尺度構成上のメリットについてもそこで紹介しているので、ここでは繰り返さない。ここでは、前回の方法を更に改良して得られた実験結果について報告する。

方 法

刺激音：刺激は人工的に作成したラウドネス変動音であり、純音とノイズをアテネータで振幅変調することで発生させた。純音の周波数は 1 kHz、ノイズは中心周波数 1 kHz の 1 オクターブバンドノイズである。振幅変調に使用したエンベロープを図 1 に示す。いずれの刺激も持続時間は 70 sec であり、そのうち開始時と終了時の 5 sec 間に変調をかけていない。図 1 の

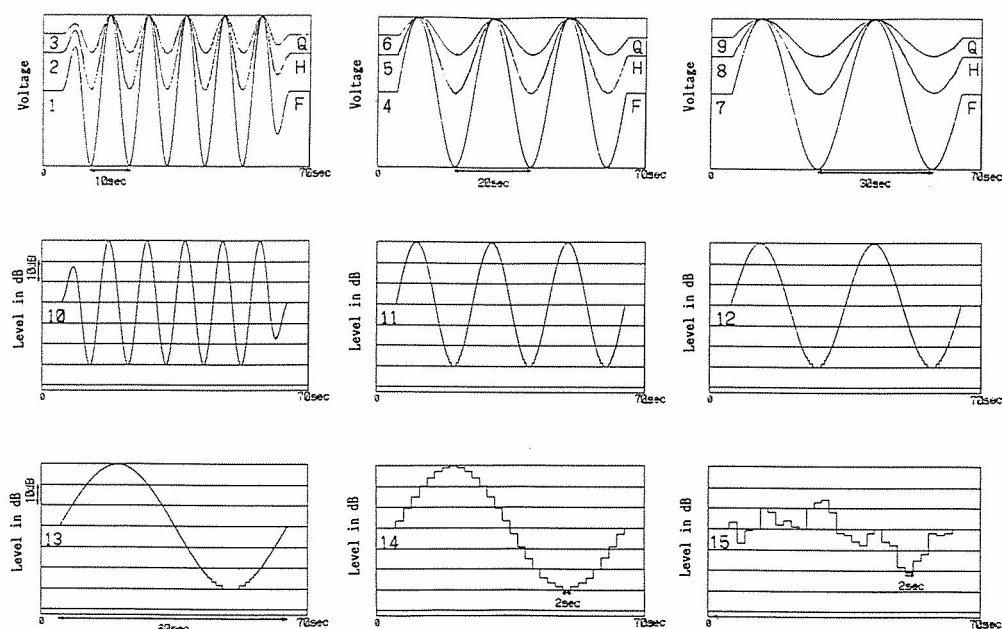


Fig. 1 Envelope Pattern of Amplitude Modulation

上段 (No. 1-9) は振幅を正弦波的に変調する場合を示す。図中の F, H, Q は変調の程度を示し、この順にアテネータの制御範囲が 1/2 ずつ狭められている。いずれの場合も刺激音の最大レベルは同じになっている。レベルの変動範囲は F: 80 dB, H: 6 dB, Q: 2.5 dB となる。上段の図は左から右に行くに従って、変調の周期が 10, 20, 30 sec の順に長くなる。このタイプの変調は結局 9 種類となる。これらの刺激では変調をかけるためのアテネータの操作は 10 msec 毎に行われた。また 10 sec の変調周期の刺激にのみ、変調の開始と終了時に 5 sec 間の平滑化を施した。

図 1 の中下段は dB 値で変調する場合であり、No. 10-14 では変動範囲は 60 dB で変動の周期が 10 sec から 60 sec まで変化する。No. 14 は 13 を 2 sec 毎のステップ変化に変換したものである。更に No. 15 は変動範囲 35 dB で 1 ステップ 2 sec の不規則パターンであり、実験にはこのパターンの時間軸と変化方向を逆転させて得られる 3 パターンも加えた。なお、振幅を正弦波的に変調する場合と dB 値を同様に変調する場合での聞こえの大きな相異は、後者ではラウドネスが減少し始めてから回復するまでの経過がより緩やかになる点にある。

従って、実験に使用した刺激は、変調パターンでは振幅の正弦波の変調 9 種類と dB 値での正弦波の変調 5 種類、さらに不規則ステップ変化 4 種類の計 18 種類であり、キャリア信号に 2 種類あるから全体では 36 種類となる。

これらの刺激音の提示レベルは、アテネータを解放して提示した定常音（この場合は最大レベルとなる）が 80 dB(A) になるよう、ヘッドホンの出力をダミーヘッド（高研 SAMRAI）で受け計測用アンプ（B&K 2610）で測定して調整した。刺激音の物理量は、計測用アンプの出力を長時間 Leq 測定器（AD システム）に通して 100 msec 毎の Leq を計測したが、刺激音の開始と測定開始の同期をとることが難しく、変調ピークの前後で測定値が非対称になりやすいため、ここではアテネータの制御値に基づいて 100 msec 毎の Leq 値を計算で求め分析に使用した。なお演算値と実測値は上記の点や暗騒音レベルの影響を受ける部分以外ではほぼ対応している。

実験装置：図 2 は実験装置のブロック図である。刺激音はデジタルファンクションシンセサイザ（エヌエフ DF-191）か雑音信号発生器（リオン SF-05）で発生され、パーソナルコンピュータ（NEC PC 9801 RX2）で制御されるアテネータ（AD システム）により振幅変調される。この信号がアンプ（KENWOOD KA-V 7000）からヘッドホンアンプ（STAX SRD-X Pro.）ヘッドホン（STAX SRA Pro.）を通して防音室内の被験者に片耳提示された。

次の手続きの項で詳述するように、被験者はトラックボール（Arvel PaPa）を操作して 14 インチモニタ上の線分の長さを調節するが、この制御にはもう一台のパーソナルコンピュータ（NEC PC 9801 UX）を使用した。ここで使用したトラックボールは直径が約 5.5 cm と大きく、これを左右に回転させることで線分長を高速に変化させることが可能である。刺激提示と反応

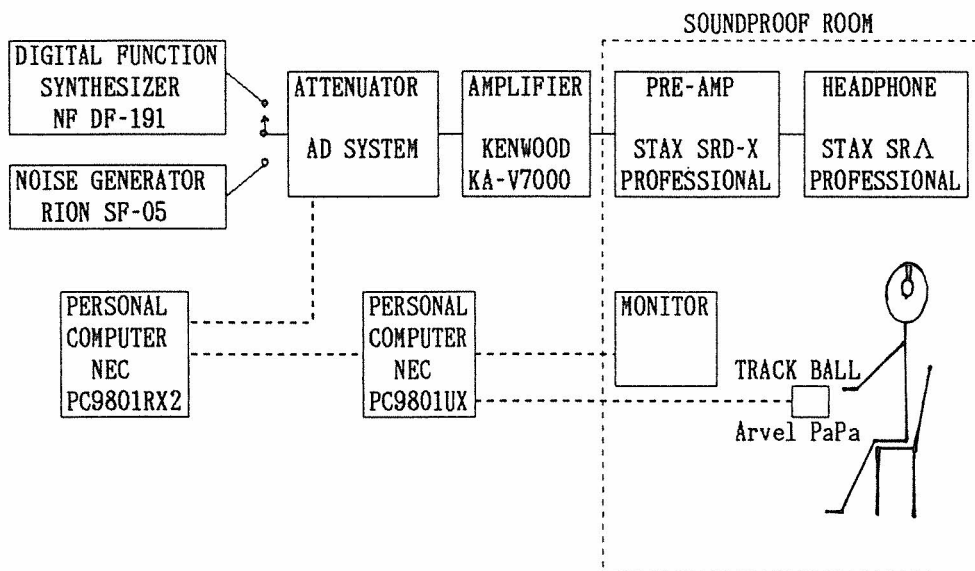


Fig. 2 Block Diagram

記録を同期させるため、2台のコンピュータはRS 232 C 回線で結び、アテネータが発生する10 msec のタイミング信号を利用して100 msec 毎の線分長のデータをコンピュータに取り込んだ。

実験手続き：実験に際し被験者は、防音室内でモニタから約1 m 離れて座る。次に、ヘッドホンで提示される音の刻々のラウドネスとモニタ上に水平に提示される線分の長さが常にマッチするように線分の長さを調整し続けるよう指示した。その際、モニタ画面上の最長の線分(620 ドット)は日常耳にする最大の音のラウドネスに、また最短の線分(1 ドット)は音が無くなった状態に対応すると考えるよう指示している。また、調整ではボールを動かす速度ではなく、あくまでも線分の長さをラウドネスにマッチングさせるよう強調している。実験に先立ち被験者には、刺激音の提示なしの状況で、線分長をトラックボールで操作させ、その扱いに慣れさせた。刺激提示の開始時には、モニタ画面の左側から画面中央までの線分(310 ドット)が提示される。被験者は線分の右端の位置を変化させ線分長を調整することになる。

実験はまず純音により3 試行を行い、その後バンドノイズにより3 試行を行った。各試行内での刺激提示は、振幅を正弦波的に変調した音、dB 値で正弦波的に変調した音、ステップ的に変調した音の順に行い、最後の2 群の間にNo. 14 のdB 値での正弦波の変調をステップ化したものを置いた。各ブロック中での提示順はランダム化した。

実験は、大阪大学教養部心理学研究室の防音室で1993 年7-8 月に行った。被験者は聴力に

異常のない 20-40 歳代の教職員，大学院生計 6 名である。

結 果

まず判断の安定性を検討するために，各刺激音に対する 3 回の試行結果から最初のものを練習とみなして除き，2 回目と 3 回目の反応間で被験者毎に相関係数を求めてみた。結果は表 1 に示す。全 216 (36 刺激×6 被験者) 個の相関係数の内，約 38% で 0.9 以上の値が得られており，0.8 以上では約 69% となる。一方，約 12% では 0.6 以下の値しか得られていないが，このような低い値は特定の刺激や被験者に集中する傾向がみられる。ラウドネスの変動幅が大きく速度が緩やかであれば相関係数値は比較的高くなるが，変動幅が狭くなると被験者によってはマッチングが困難になる場合もあったと考えられる。被験者数が多くないこともあり，今回の分析では，より多くの経験を経たはずの，3 回目の試行結果を使用している。

次に，音のラウドネスと線分長との対応関係をみるために，各刺激音各被験者毎に 100 msec 毎の Leq と 100 msec 毎の線分長（描記に要したドット数）の間で相関係数を算出した。算出に先立って相関図をプロットし視察した結果，Leq 値 (dB) とドット数の対数の間で良い直線関係がみられたので，以下の処理には線分長の対数を使用している。言い換えれば，両者の関係はベキ関数で近似できるとして処理を進めたことになる。更に，この種の反応には反応時間による遅延が生じていると考えられるので，その補正を行った。刺激音開始後の最初の 3 sec 分には，初期画面に提示された線分長を刺激音のラウドネスに調整するために使用される部分が大きいのと考え，まずこの部分を除外した。次に，線分長のデータを Leq データに対して 1 ポイント (100 msec) づつずらしながら毎回相関係数を算出し，それが最大となる遅延時間を求めた。図 3 にはこの補正を施した後の，刺激と反応の時間軸に沿った対応関係の一例を示してある。

表 2 は，補正した遅延時間と補正後の相関係数値を各被験者，各刺激音毎に示したものである。全体的な傾向としては，ゆっくりした深い変調の場合には遅延時間は小さく相関値も高くなるが，変調が速く浅くなると遅延時間は大きくなり相関値も低くなるケースが増える。また，不規則なステップ変化の場合は，ある程度の遅延が生じ相関値は低めになるケースが多い。更に，被験者の個人差もみうけられる。1 名の被験者で 6 sec を超える遅延が見られたが，これを採用するとその刺激音の変調部分の全てを分析に使用できなくなるので，このデータだけは分析から除外した。以下の分析は，刺激音の開始時の定常部 2 sec，変調部 60 sec，終了時の定常部 0.5 sec を使用して行っている。

次に，被験者 6 名の幾何平均値を用いて，Leq 値と線分長の対応関係をみていく。図 4 は振幅を正弦波的に変調した刺激の内，最も変調の深いものについて，変調の周期毎にプロット

線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について

Table 1 Correlation Coefficient between Trials (2-3)

1 kHz Pure Tone										
Stimuli					Ss 1	Ss 2	Ss 3	Ss 4	Ss 5	Ss 6
Mod.	Pd	Variation			r	r	r	r	r	r
1	Sound Pressure : Sine	10	80-12dB	10 ms	.696	.888	.818	.549	.893	.935
2		10	80-74	10	.499	.706	.843	.576	.856	.809
3		10	80-77.5	10	.043	.781	.807	.090	.747	.906
4		20	80- 1	10	.772	.872	.961	.849	.914	.944
5		20	80-74	10	.692	.543	.863	.489	.912	.930
6		20	80-77.5	10	.559	.652	.579	.467	.635	.670
7		30	80- 0	10	.879	.898	.976	.925	.903	.932
8		30	80-74	10	.754	.815	.908	.918	.889	.887
9		30	80-77.5	10	.851	.801	.910	.644	.744	.880
10	dB : Sine	10	80-20	10	.839	.917	.882	.599	.956	.923
11		20	80-20	10	.732	.884	.936	.927	.958	.980
12		30	80-20	10	.939	.913	.963	.962	.958	.964
13		60	80-20	10	.970	.944	.980	.946	.983	.983
14		60	80-20	2 sec	.978	.958	.986	.741	.971	.923
15	Random	60	64-29	2	.559	.852	.847	.685	.846	.895
16		60	64-29	2	.356	.756	.856	.762	.932	.902
17		60	71-36	2	.750	.863	.878	.727	.760	.884
18		60	71-36	2	.951	.888	.918	.729	.872	.942
CF 1 kHz Band Noise										
1	Sound Pressure : Sine	10	80-12dB	10 ms	.835	.855	.909	.794	.920	.869
2		10	80-74	10	.672	.840	.700	.867	.736	.746
3		10	80-77.5	10	.003	.401	.573	.700	.415	.687
4		20	80- 1	10	.881	.805	.877	.846	.929	.883
5		20	80-74	10	.719	.800	.766	.825	.958	.776
6		20	80-77.5	10	.023	.886	.778	.106	.762	.585
7		30	80- 0	10	.756	.926	.977	.839	.923	.913
8		30	80-74	10	.768	.885	.951	.852	.806	.811
9		30	80-77.5	10	.116	.811	.248	.624	.327	.831
10	dB : Sine	10	80-20	10	.784	.940	.906	.915	.864	.927
11		20	80-20	10	.952	.902	.961	.926	.944	.960
12		30	80-20	10	.915	.860	.972	.895	.963	.974
13		60	80-20	10	.977	.931	.978	.962	.883	.967
14		60	80-20	2 sec	.957	.971	.973	.897	.947	.971
15	Random	60	64-29	2	.624	.903	.889	.536	.930	.904
16		60	64-29	2	.518	.971	.767	.855	.815	.969
17		60	71-36	2	.898	.915	.856	.212	.912	.899
18		60	71-36	2	.947	.872	.725	.655	.893	.879

Pd : Period (sec)

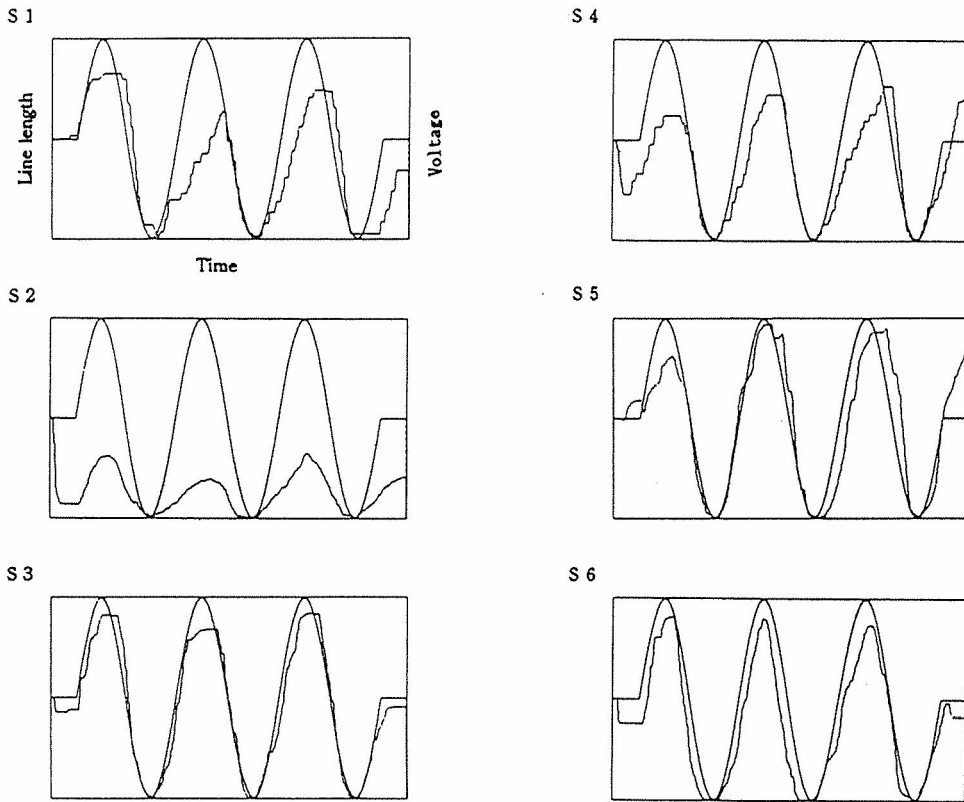


Fig. 3 Examples of Response Pattern

したものである。変調の周期が 10 sec の場合には、 Leq 値が小さくなくても線分長はそれに追従しきれていない。変調の周期が 30 sec と緩やかになればこの傾向は軽減され、ほぼ直線的関係を示すに至る。図 5 は dB 値で正弦波的に変調した場合の、変調周期 10-30 sec の結果であるが、 Leq 値が小さいときには線分長は直線関係で予測される長さより更に短くなる傾向がみられる。刺激の物理量が小さくなると、ラウドネスとの対応関係でこのような傾向は一般的に観察されるところである。少なくともこの変調の範囲では、線分長の調整は刺激変化を十分に追従していると考えられる。キャリア信号が純音かバンドノイズかということは、対応関係にはさほど大きな変化を与えているとは思えないが、変化範囲の広い条件ではバンドノイズの結果は中位レベルで持ち上がった弓形を示す傾向がみられる。これについては考察で一つの解釈を紹介する。また、バンドノイズの方が使用された線分長の範囲が広がっている。これはバンドノイズが後から施行されたことが影響し、練習効果がこのような形で現れた可能性がある。

また、図 6 は上記以外の刺激について得られた対応関係の例である。

Table 2 Correlation Coefficient Between Calculated Leq Values and Judgments

1 kHz Pure Tone															
Stimuli				Ss 1		Ss 2		Ss 3		Ss 4		Ss 5		Ss 6	
Mod.	Pd	Variation		Dt	r	Dt	r	Dt	r	Dt	r	Dt	r	Dt	r
1	Sound Pressure : Sine	10	80-12dB 10 ms	1.2	.804	0.0	.848	0.1	.887	0.5	.517	0.4	.870	0.2	.859
2		10	80-74 10	1.1	.455	1.1	.654	0.3	.921	1.2	.613	0.7	.856	0.5	.942
3		10	80-77.5 10	1.7	.505	1.3	.637	0.5	.519	1.4	.430	1.1	.620	0.7	.827
4		20	80- 1 10	1.0	.842	0.1	.890	0.0	.946	0.1	.943	0.4	.928	0.0	.890
5		20	80-74 10	1.8	.757	1.4	.840	0.6	.914	2.5	.725	0.2	.887	0.5	.897
6		20	80-77.5 10	3.2	.510	1.4	.746	0.5	.902	1.6	.536	0.4	.589	0.0	.858
7		30	80- 0 10	0.2	.929	0.1	.936	0.2	.965	0.0	.840	0.4	.908	0.0	.921
8		30	80-74 10	3.1	.829	0.1	.931	0.4	.935	0.2	.971	0.0	.825	0.0	.848
9		30	80-77.5 10	4.2	.859	3.5	.926	0.1	.386	0.8	.900	0.0	.578	0.0	.773
10	dB : Sine	10	80-20 10	0.9	.919	0.5	.914	0.0	.857	0.6	.704	0.4	.908	0.2	.897
11		20	80-20 10	0.5	.941	0.7	.904	0.1	.894	0.1	.915	0.0	.960	0.3	.948
12		30	80-20 10	1.5	.903	0.7	.848	0.0	.952	0.0	.919	0.0	.962	0.0	.967
13		60	80-20 10	0.0	.905	0.0	.943	0.0	.936	0.0	.876	0.0	.944	0.0	.951
14	Random	60	80-20 2 sec	0.0	.932	0.0	.934	0.0	.922	1.8	.912	0.0	.935	0.0	.893
15		60	64-29 2	0.5	.840	0.4	.938	0.2	.772	0.6	.702	0.7	.838	0.6	.685
16		60	64-29 2	0.6	.843	0.4	.893	0.2	.845	0.9	.723	0.7	.875	0.7	.901
17		60	71-36 2	0.6	.893	0.3	.919	0.3	.849	0.8	.840	1.0	.861	0.6	.938
18		60	71-36 2	0.5	.710	0.4	.890	0.3	.762	0.6	.781	0.8	.741	0.5	.833
CF 1 kHz Band Noise															
1	Sound Pressure : Sine	10	80-12dB 10 ms	0.4	.772	0.2	.895	0.0	.895	0.4	.835	0.3	.946	0.2	.899
2		10	80-74 10	1.0	.779	1.6	.756	0.7	.818	1.2	.838	1.0	.805	1.3	.870
3		10	80-77.5 10	1.5	.351	2.2	.483	0.8	.832	1.8	.568	1.6	.465	1.2	.675
4		20	80- 1 10	0.5	.943	0.1	.906	0.1	.849	0.2	.913	0.3	.939	0.0	.915
5		20	80-74 10	1.6	.761	2.3	.774	1.0	.915	1.2	.817	0.6	.854	0.1	.693
6		20	80-77.5 10	2.3	.860	2.5	.840	2.6	.744	3.1	.642	1.6	.857	1.2	.612
7		30	80- 0 10	0.3	.944	0.3	.982	0.0	.958	0.0	.899	0.3	.915	0.0	.885
8		30	80-74 10	0.5	.760	3.3	.854	1.7	.963	0.6	.936	0.4	.922	1.1	.943
9		30	80-77.5 10	6.1	.482	3.2	.811	1.3	.922	0.8	.912	1.9	.854	2.6	.892
10	dB : Sine	10	80-20 10	0.3	.810	0.5	.844	0.0	.904	0.6	.844	0.5	.924	0.2	.935
11		20	80-20 10	0.7	.884	1.3	.938	0.0	.894	0.5	.838	0.8	.953	0.0	.924
12		30	80-20 10	0.4	.852	1.3	.918	0.0	.897	0.0	.896	0.0	.935	0.0	.955
13		60	80-20 10	0.7	.929	0.0	.956	0.0	.922	0.0	.907	0.0	.874	0.0	.896
14	Random	60	80-20 2 sec	0.3	.921	0.0	.925	0.3	.885	0.0	.889	0.0	.944	0.0	.940
15		60	64-29 2	0.9	.365	0.5	.931	0.2	.803	3.7	.344	0.9	.880	0.6	.836
16		60	64-29 2	1.1	.847	0.5	.881	0.3	.742	0.9	.774	1.1	.895	1.1	.918
17		60	71-36 2	0.7	.845	0.5	.877	0.3	.863	1.2	.202	1.1	.779	0.7	.861
18		60	71-36 2	0.7	.870	0.5	.761	0.3	.852	2.0	.723	0.8	.921	0.7	.923

Pd : Period Dt : Response time (sec) necessary for maximizing correlation coefficient

Stimuli : Calculated Leq (100 msec)

Response : Logarithmic value of line length every 100 msec

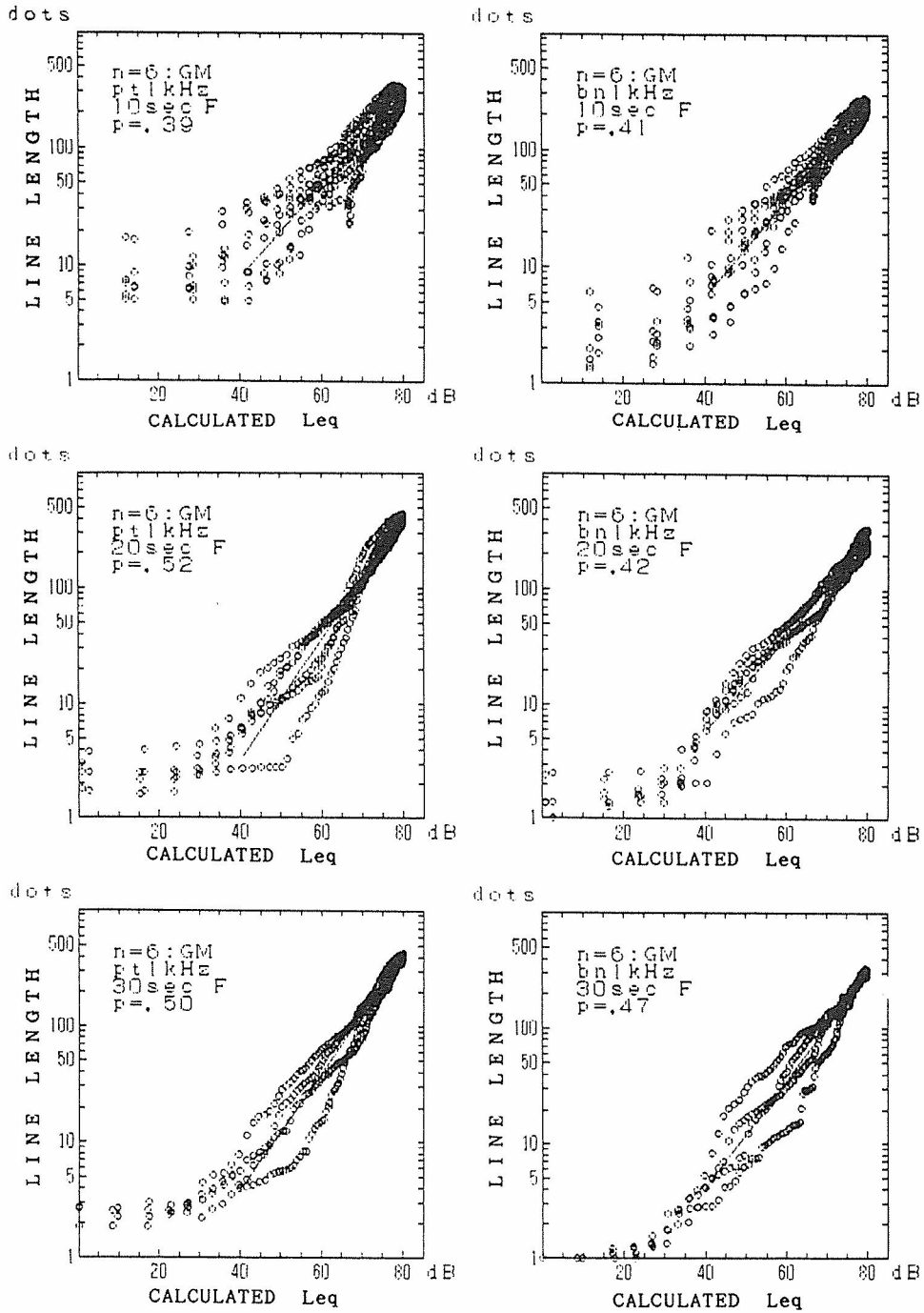


Fig. 4 Relationship between Line Length and Calculated Leq

線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について

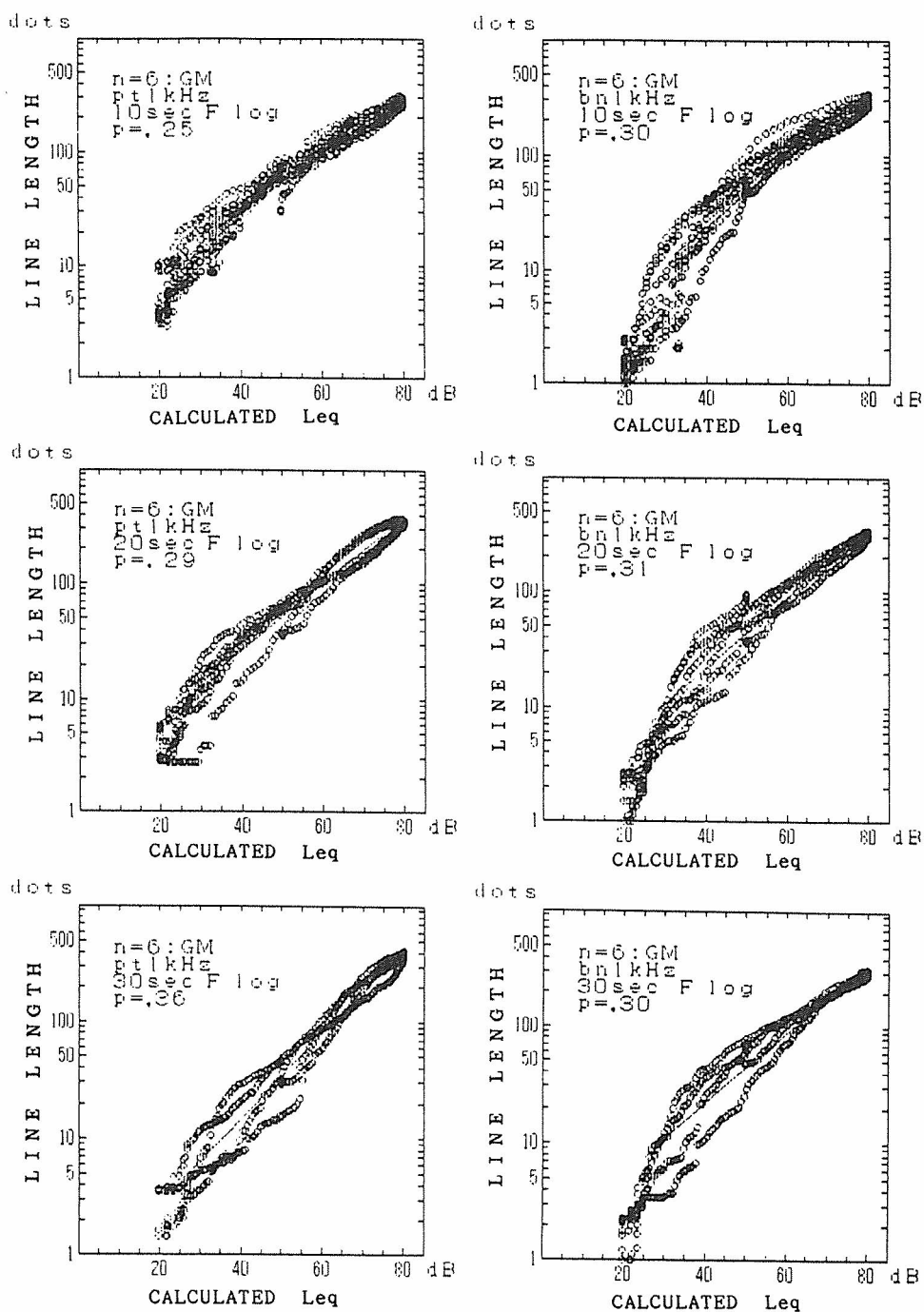


Fig. 5 Relationship between Line Length and Calculated Leq.

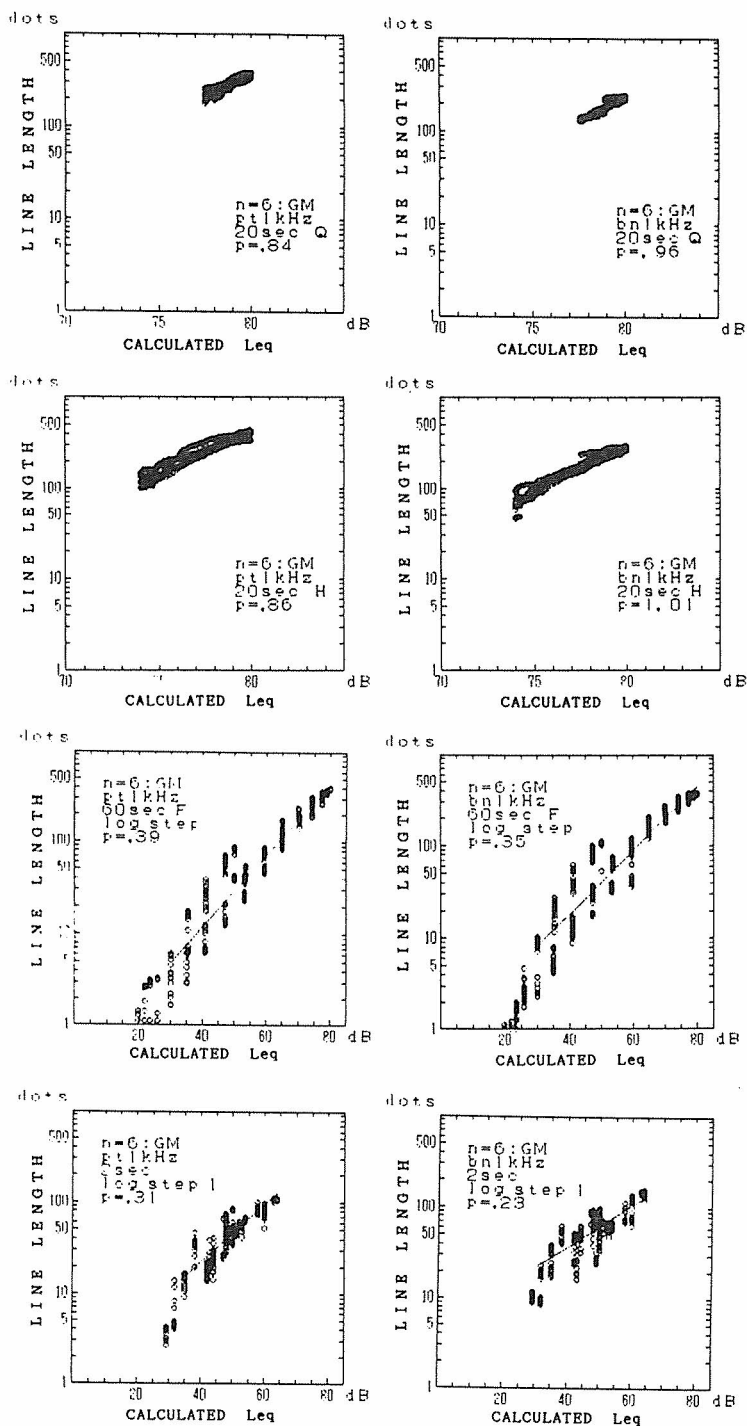


Fig. 6 Relationship between Line Length and Calculated Leq

線分長とのクロスモダリティマッチングによるラウドネス連続評価について

Table 3 Exponents

Stimuli					Exponents	
Mod.	Pd	Variation			1 kHz PT	Band Noise
1	Sound Pressure : Sine	10	80-12dB	10 ms	0.39	0.41
2		10	80-74	10	0.81	0.63
3		10	80-77.5	10	0.64	0.71
4		20	80- 1	10	0.52	0.42
5		20	80-74	10	0.86	1.01
6		20	80-77.5	10	0.84	0.96
7		30	80- 0	10	0.50	0.47
8		30	80-74	10	1.13	0.97
9		30	80-77.5	10	1.18	0.99
10	dB : Sine	10	80-20	10	0.25	0.30
11		20	80-20	10	0.29	0.31
12		30	80-20	10	0.36	0.30
13		60	80-20	10	0.36	0.33
14		60	80-20	2 sec	0.39	0.35
15	Random	60	64-29	2	0.31	0.23
16		60	64-29	2	0.43	0.33
17		60	71-36	2	0.41	0.25
18		60	71-36	2	0.37	0.31

Pd : Period (sec) PT : Pure tone

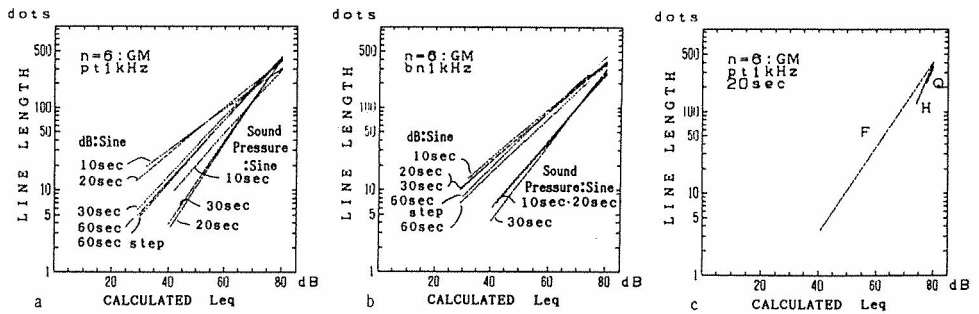


Fig. 7 Power Functions fitted to the Matching Data

このように、100 msec 毎の Leq 値と線分長の間には、両対数軸上で基本的に直線関係が成り立ち、つまりはべき関数で近似できるものになった。Leq 値が中位以上の、明らかに直線関係が成立している部分から最小自乗法により求めたべき指数を表3に示す。また、回帰直線を図7に示す。

表3にみられるように、dB 値で変動する場合に得られるべき指数は、ラウドネスの ME 判断で得られる 0.33 に近い値となる。振幅で正弦波的に変調した場合には、べき指数は大きくなる傾向にある。また変化幅が狭くなるとより大きくなるが、これは一般的にみられる傾向で

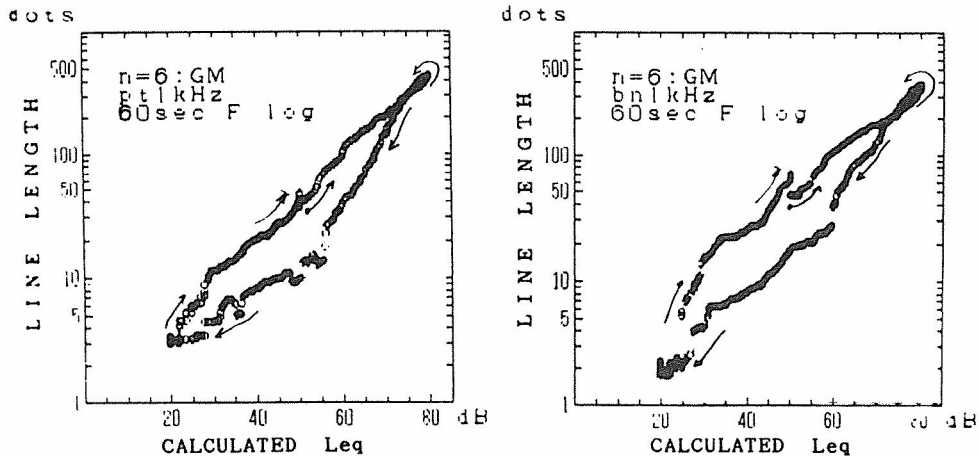


Fig. 8 Relationship between Line Length and Calculated Leq (period = 60 sec)

ある。

図7 a, b には、変動幅の大きな刺激音に対して求めた回帰直線をキャリア信号別に示してあるが、純音の場合には dB 値で変調した刺激と振幅で変調した刺激についての結果が分離する傾向にあり、更に変調周期が短いものが分離している。これに対して、バンドノイズでは dB 値による変調か振幅による変調かではっきり 2 群に分かれている。図7に示した刺激音では、最大となる Leq 値は同じであるが、回帰直線の右端がほぼ一致している点は、ここでのラウドネス判断の信頼性を示していると考ええる。図7cは、変動幅が狭くなった場合の回帰直線の変化を示している。これは一例であるが、他の刺激でも同様の結果となっている。

図8には変調周期 60 sec の刺激にたいする線分長の対応の様子を示すが、刺激のレベルが上昇する際のマッチング結果に対して、下降時の結果は同じ Leq 値に対してより短くなっている。特にキャリアが純音である場合に顕著である。同じ変調周期でもステップ変化する場合にはこれほどはっきりした異同は生じていない。

考 察

今回の結果で特筆すべきは、100 msec 毎の刺激音の Leq 値とそのラウドネスにマッチングさせた線分長の間にベキ関数が成立したことである。連続判断の手段として線分長によるマッチングを採用した理由には、線分長の ME 判断でのベキ指数が 1.0 であるとされており、直接尺度構成では数値の代用になり得ると考えられることが大きい。更に、ME 法で求めたラウドネスのベキ指数は 0.3-0.33 前後であるとされており、今回使用した刺激音のなかにはほぼこれに対応する値を示すものが見出されている。これらは、ここで採用した具体的方法が、連続

評価の方法として高い可能性を有することを示唆している。ここで得られた結果が、ラウドネス判断を表現していると考えられる理由は、ベキ指数の値以外にもある。これは Canévet & Scharf (1990) が広帯域ノイズの継時 ME 法によるラウドネス判断に関して検討していることであるが、一般に広帯域ノイズのラウドネス関数は、純音のそれが中位以上のレベルでほぼベキ関数に従うのに対して、基本的にはベキ関数に従いながらも中位のレベルで上に持ち上げられた弓形になる。そのメカニズムに関して彼らは Scharf (1978) による解説をあげているが、複合音の周波数が臨界帯域を越えたときに生じるラウドネス増加は中位のレベルで最も大きくなることによると考えられている。1 kHz での臨界帯域幅は約 170 Hz 程度であり、ここで使用した 1 オクターブ幅はこれよりも十分広い。図 5 に示す結果を純音とノイズ間で比較すると、ノイズの場合には弓形の特徴がより強く現れている。

このような結果を得ることができた理由の一つは、線分長の操作性にあると考えている。これに先立つ実験では、線分長の調整をキーボードのキーの押し分けにより行ったが、そこでの結果は対数関数でも近似できるものであった。その場合にも、同一方向のキーを押し続けることで線分長を急速に変化させることが可能であったが、操作性からいって今回採用した手段に及ぶものではない。キーの押し分けが、一試行をさらに細かい主観的な判断区間に区切って、その区間内で一回の判断を行うといった性格を容易には脱しきれないのに対して、ローラーボールでは連続的な操作が可能になってくる。

クロスモダリティマッチングにおいては、二つのモダリティ間での *compatibility* が重要になると考えられる。即ち、刺激音のラウドネスが変動する速さや範囲と線分長の操作の速さや範囲が、心理的にはほぼ等しくなる場合に、最もバイアスの少ないマッチングが可能になると考えられる。ここで採用した具体的方法は、その意味でこれまでより進歩しているといえるであろう。無論、被験者が採る判断様式には様々なものが可能であって、このような操作法にあっても比較的長時間の時間範囲毎の心理的に丸められた値でマッチングが行われることもあり得る。しかし、刻々の感覚量の変化を極力忠実に線分長に置き換えるためには、上記のような刺激と反応間での高い *compatibility* が必要となろう。

一方でこの問題は、刺激の側からも検討されるべきであろう。線分長の操作法をとりあえずここで使用したものに留めるとして、これにより連続判断が可能な刺激の範囲はどのようなものであろうか。人工音による今回の結果では、10 sec の変調周期でも dB 値で正弦波的に変調した場合には、線分長による追従は十分可能であった。しかし、振幅を同様に変調した場合には、ラウドネスが減少する部分で追従が困難になる傾向がみられている。周期 10 sec で dB 値の変調では平均すると 12 dB/sec の速度になるが、正弦変調であるから部分的にはより速い速度となっている。この値自体よりも dB 値で一定の変化パターンであることがラウドネスの追従を容易にするとも考えられる。一方、変調の深さもマッチング結果にはっきりした影響を

与えているが、これを線分長の操作性の観点から検討することは、現状ではまだ困難である。ここで使用した刺激音の多くは、一定のレベル変動の繰り返しにすぎないが、現実には持続した時間の流れのなかで様々な速度、前後関係、変動幅のレベル変動が生じ、それに対するラウドネス判断がどのようになされているかという問題は、ここで開発しようとしている手法が解決を目指しているところのものである。

しかし、現実の騒音では、ここで使用した刺激音のように深い強さの変動が繰り返し生じることはむしろ希であろう。最も大きな変動は音の開始時と終了時に生じ、音の持続時間内に生じる変動はそれに比較すると小さいものになろう。そのような刺激音のラウドネスに対して線分長がどのようにマッチングされるかは現状では不明である。今回の結果でも、変動の小さな刺激での結果はベキ関数で近似できてそのベキ指数は異なったものになっている。人工音で得られた結果をそのまま現実音にも期待することは難しいかもしれない。

ところで、図8に刺激のレベル上昇時に対して下降時ではマッチングされる線分長がより短くなる傾向を示しておいたが、これは何を意味するのであろうか。例えば、Stevens (1957) は2つのラウドネスの間を4等分させる実験では、上昇、下降系列間にはっきりしたずれが生じることを見出して、これを *hysteresis* と呼んでいる。しかし、そのずれの方向はここで見られるものとは逆になっているし、刺激の提示法や判断形式はここで報告したものとは全く異なっている。その点で、Scharf 等が報告した *decrement* 現象は、ずれの方向も実験状況もより近いものである (Canévet & Scharf, 1990; Scharf, 1991)。即ち、刺激レベルを連続的に変化させ継時 ME 法によりラウドネスを測定した結果、レベル下降時のみラウドネスの過小評価が見出されている。最も、レベルの変化速度は3 min で 50–60 dB の変化という比較的緩やかなものであるし、ラウドネスの過小評価が生じるのは 40 dB 以下のレベルにおいてである。図8では過小評価は 70 dB 付近から生じているし、レベルは3倍速く変化している。従って、*decrement* 現象であると結論するのは早計であろう。

一方、使用した方法の特異性が、これを生じた可能性も考えられる。ME 法の場合には感覚量を表現するために使用する数値の範囲には制限がない。しかし、線分長には必ず範囲に制限が伴う。これがマッチングにどのような影響を与えているか、現在のところ評価できるには至っていないが、例えば、ラウドネスの減少に気付いた時点で線分をある程度まで短くしてしまい、ラウドネスが最小になり増加に転じるのを待ちかまえるといった調整態度も可能である。ただ、そのような態度はラウドネス増加に際してもとり得るのであるから、今回のようにラウドネスの減少側でのみ観察されるずれに対してこの解釈を当てはめることができるとは考え難い。

このように、連続的に変化する刺激が生じる知覚は、静的な刺激が生じる知覚からは予想できない面を有する。物理量としてはレベルの変化といった一次元的なものであっても、これを

連続的に提示する際には時間軸を含めた二次元の変化になっているのであり、これに対する感覚が多次元的变化を示す可能性は極めて高くなる。連続判断を求めるための評価法を確立するためには、人間の時間感覚、運動能力、に始まり感覚次元や注意の構造に至るまでの広範な問題に対処していく必要がでてくる。しかし、とりあえずは今回採用した方法を基礎にして、更に様々な測定を繰り返すことで連続評価の基礎を確定していきたいと考える。

要 約

振幅変調により作成した人工音を用いて、レベル変動音のラウドネスの連続判断を線分長とのクロスモダリティマッチングにより求めた。結果はベキ関数で近似でき、特に変調幅が広く比較的ゆっくりした変調の場合ではベキ指数は0.3に近くなった。キャリアに純音を使用した場合とバンドノイズを使用した場合に観察される関数の相異も、ラウドネス関数と臨界帯域の関係による解釈に添ったものである。線分長の操作法を改善した効果はあったと考えたいが、ここで使用した人工音は必ずしも現実音の強さの変動特性を反映したものではないので、今回の結果を一般化するには至らない。また、ラウドネス下降時には線分長が過小に調整される傾向も観察されたが、この原因は今のところ不明である。種々の変動音について更にデータを集積する必要がある。

引 用 文 献

- Canévet G. and Scharf B. (1990). "The loudness of sounds that increase continuously in level", J. Acoust. Soc. Am., 88, 5, 2136-2142.
- 加藤 徹, 難波精一郎, 桑野園子, (1993). "調節速度可変の線分長によるラウドネス連続評価の試み", 追手門学院大学文学部紀要, 28号, 19-34.
- Kuwano S. and Namba S. (1985). "Continuous judgment of level-fluctuating sounds and the relation between overall loudness and instantaneous loudness", Psychol. Res., 47, 27-37.
- Kuwano S. and Namba S. (1990). "Continuous judgment of loudness and annoyance", Proceedings of the 6th Annual Meeting of International Society for Psychophysics, 129-134.
- Kuwano S. and Namba S. (1992). "Temporal stream of hearing", 大阪大学教養部研究集録 (人文・社会科学) 第40輯, 3-15.
- Namba S. and Kuwano S. (1980). "The relation between overall noisiness and instantaneous judgment of noise and the effect of background noise on noisiness", J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 1, 2, 99-106.
- 難波精一郎, 桑野園子, 二階堂誠也 (1982). "カテゴリ連続判断法による音質評価", 日本音響学会誌, 38, 4, 199-210.
- Namba S., Kuwano S. and Fastl H. (1988). "Loudness of road traffic noise using the method of continuous judgment by category", Proceeding of NOISE 88, 241-246.
- Namba S., Kuwano S., Hato T. and Kato M. (1991). "Assessment of musical performance by

- using the method of continuous judgment by selected description", *Music Perception*, 8, 251 - 276.
- Scharf B. (1978). "Loudness", In E. C. Carterette and M. P. Friedman (Eds.), *Handbook of Perception*, Chapter 6, 187 - 242.: Academic Press, Inc.
- Scharf B. (1991). "Loudness adaptation measured by the method of successive magnitude estimation", In S. J. Bolanowski, Jr. and G. A. Gescheider (Eds.), *Ratio scaling of psychological magnitude — In honor of the memory of S. S. Stevens —*, Chapter 14, 199 - 214.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Stevens S. S. (1957). "On the psychophysical law", *Psychol. Rev.*, 64, 153 - 181.

1994年4月7日 受理